

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemasan pangan berperan penting dalam menjaga kualitas dan keamanan produk selama proses distribusi dan penyimpanan (Bahrami, dkk., 2020; Pilevar, dkk., 2019). Salah satu tantangan utama dalam sistem rantai pasok pangan adalah kontaminasi mikroba, yang dapat mempercepat penurunan mutu dan meningkatkan resiko penyakit bawaan makanan (Kuswandi, dkk., 2012). Daging ayam, sebagai salah satu produk hewani yang banyak dikonsumsi, memiliki kandungan lemak jenuh yang rendah namun bersifat mudah rusak. Kualitas daging ayam cenderung menurun dalam waktu 4-7 hari penyimpanan pada suhu dingin, akibat aktivitas mikroorganisme pembusuk seperti *Pseudomonas spp.* dan *Shewanella putrefaciens*, bakteri aerobik, dan ragi (Riahi, dkk., 2019).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran konsumen terhadap keamanan dan kualitas pangan, dibutuhkan inovasi dalam teknologi kemasan yang tidak hanya berfungsi sebagai pelindung, tetapi mampu memberikan informasi terkait kondisi produk secara *real-time* (Bahrami, dkk., 2020). Metode konvensional yang digunakan untuk mendeteksi kesegaran daging, seperti pengukuran total volatil basic nitrogen (TVBN), pH, triveniltetrazolium klorida (TTC), kromatografi gas (GC), dan analisis mikrobiologis, dinilai kurang praktis karena membutuhkan peralatan laboratorium, prosedur yang kompleks, serta waktu dan biaya yang relatif tinggi (Kuswandi & Nurfawaidi, 2017).

Perubahan kesegaran daging ditandai dengan meningkatnya kadar senyawa amina volatil hasil dekomposisi protein, yang menyebabkan kenaikan nilai pH (Miller, dkk., 2023; Pellissery, dkk., 2020; Saewan, dkk., 2021). Perubahan pH ini dapat dideteksi secara visual melalui indikator warna yang bersifat halokromik, yaitu mampu berubah warna sesuai dengan kondisi lingkungan. Penambahan indikator semacam ini ke dalam sistem kemasan dikenal sebagai *smart packaging*, yang memungkinkan pemantauan kualitas produk secara mudah, cepat, *real-time*,

dan tanpa merusak kemasan (Ezati, dkk., 2019; Fang, dkk., 2022; Kuswandi, dkk., 2017).

Antosianin merupakan pigmen alami dari golongan flavonoid yang responsif terhadap perubahan pH. Senyawa ini memiliki berbagai keunggulan, antara lain bersifat antioksidan, antimikroba, larut dalam air, tidak beracun, serta ekonomis, sehingga menjadikannya kandidat potensial sebagai indikator warna alami dalam sistem kemasan cerdas (Olewnik-Kruszkowska, dkk., 2019; H. Wu, dkk., 2023; Yong & Liu, 2020; Yun, dkk., 2019). Sumber antosianin meliputi wortel (M. Moradi, dkk., 2019), kubis merah (M. Chen, dkk., 2021), bunga telang (Mahatmanti, dkk., 2024), dan kayu secang (Kurnianto, dkk., 2020). Indikator alami lebih unggul dibandingkan indikator sintetis karena memiliki toksisitas rendah, biaya produksi rendah, serta kompatibilitas tinggi dengan polimer alami (Yoshida, dkk., 2014).

Penggunaan indikator alami menuntut adanya media kemasan yang tidak hanya kompatibel, tetapi juga ramah lingkungan. Bahan pengemasan biodegradabel berbasis polimer alami menjadi alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan kemasan konvensional berbasis plastik sintetis, yang sulit terurai dan berdampak negatif terhadap lingkungan (Alizadeh-Sani, dkk., 2020). Polimer alami, seperti protein dan polisakarida diketahui mampu terdegradasi melalui proses fisika, kimia, dan biologi (Díaz-Montes, 2022; Dirpan, dkk., 2023; Satchanska, dkk., 2024). Contoh polimer alami yang potensial di antaranya adalah kitosan, pati, selulosa, alginat, karaginan, agar, dan pektin, yang secara umum memiliki karakteristik fisikokimia yang mendukung fungsinya sebagai bahan dasar kemasan cerdas (Benalaya, dkk., 2024; Shahabi-Ghahfarrokhi, dkk., 2020).

Kitosan merupakan polisakarida yang melimpah dan terbarukan, serta dikenal memiliki sifat antibakteri dan antioksidan yang dapat memperpanjang masa simpan produk pangan. Aktivitas antioksidan kitosan mencegah inisiasi oksidasi lipid pada bahan pangan (Otero-Pazos, dkk., 2016). Kitosan bersifat biodegradabel dan biokompatibel sehingga berpotensi besar sebagai bahan pembentuk film yang memiliki kekuatan dan sifat mekanik yang baik. Kehadiran gugus amino dan hidroksil pada rantai polimer kitosan memungkinkan terjadinya modifikasi kimiawi

dan fungsionalisasi lebih lanjut untuk berbagai aplikasi (Stefanowska, dkk., 2023). Namun, kuat tarik, elongasi, dan sifat antibakteri kitosan belum optimal, sehingga diperlukan modifikasi melalui penambahan material pendukung yang dapat berinteraksi secara sinergis.

Salah satu material yang berpotensi untuk meningkatkan performa kitosan adalah grafena oksida (GO), yaitu bentuk teroksidasi dari grafena yang terdiri atas lembaran atom karbon berstruktur kisi heksagonal (L. Sun, 2019). GO memiliki struktur berlapis dengan jarak antar lapisan yang lebih besar dan tidak teratur akibat keberadaan gugus fungsi yang mengandung oksigen, seperti epoksi, hidroksi, dan asam karboksilat. Gugus-gugus ini memungkinkan GO berinteraksi dengan radikal bebas melalui mekanisme donasi elektron atau atom hidrogen, sehingga memberikan sifat antioksidan. Karakteristik tersebut juga berkontribusi terhadap luas permukaan GO yang tinggi, biokompatibilitas yang baik, serta aktivitas antimikroba dan antioksidan yang menjanjikan. Selain meningkatkan kekuatan mekanik komposit, GO juga memiliki kemampuan dispersi yang sangat baik dalam medium berair, sehingga dapat menghasilkan film berbasis polimer yang lebih homogen dan stabil (Lyn, dkk., 2021). Kombinasi kitosan dan grafena oksida telah banyak diteliti untuk meningkatkan performa film biopolimer, seperti pada aplikasi kemasan aktif atau antimikroba. Namun, pemanfaatannya sebagai matriks indikator pH berbasis pigmen alami, seperti ekstrak kubis merah, dalam kemasan pintar untuk memantau kesegaran produk pangan masih jarang dijumpai. Penelitian terkait umumnya masih terbatas pada penggunaan kitosan tanpa penambahan GO, atau hanya menggunakan indikator buatan. Oleh karena itu, pengembangan film komposit ini berpotensi memperkaya inovasi kemasan cerdas berbasis bahan alami dan ramah lingkungan. Guna meningkatkan performa fisik dan mekanik dari film tersebut, diperlukan pendekatan tambahan seperti penambahan agen pengikat silang.

Penambahan agen pengikat silang (*crosslinker agent*) merupakan metode umum untuk meningkatkan sifat mekanik komposit. Beberapa jenis agen pengikat silang yang telah banyak diterapkan meliputi polyvinylalkohol (PVA), *poly-lactic acid* (PLA), *polystyrene*, *polyamide* (Tao, dkk., 2017), dan glutaraldehida (Lin,

dkk., 2017). Pada penelitian ini, menggunakan glutaraldehida sebagai pengikat silang dikarenakan memiliki gugus aldehid reaktif yang mampu membentuk ikatan dengan gugus hidroksil pada kitosan dan GO melalui interaksi hidrogen. Proses ini menghasilkan jaringan polimer yang lebih padat, sehingga dapat meningkatkan kuat tarik, elongasi, dan stabilitas film biopolimer (Tao, dkk., 2017). Selain itu, penggunaan glutaraldehida juga diketahui dapat mengurangi sifat hidrofilik film dan meningkatkan ketahanan mekanik selama penyimpanan.

Sejalan dengan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan film biodegradabel berbasis kitosan yang dilapisi antosianin dari ekstrak kubis merah sebagai bahan indikator kesegaran daging ayam. Film diformulasikan dengan memanfaatkan glutaraldehida sebagai agen pengikat silang serta GO untuk meningkatkan karakteristik mekanik (kuat tarik dan elongasi), aktivitas antibakteri, dan stabilitas termal film. Selain itu, GO diharapkan dapat mengurangi hidrofilitas film, sehingga membantu menjaga stabilitas indikator selama penyimpanan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang perlu dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sintesis dan karakteristik grafena oksida hasil metode Hummers berdasarkan analisis FTIR dan XRD?
2. Bagaimana pengaruh glutaraldehida (GA) dan grafena oksida (GO) terhadap sifat mekanik, antibakteri, dan biodegradabilitas film kitosan terlapis ekstrak kubis merah?
3. Bagaimana potensi film kitosan terlapis ekstrak kubis merah sebagai sensor kesegaran daging ayam melalui perubahan warna selama penyimpanan?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang diajukan, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis grafena oksida menggunakan metode Hummers dan mengonfirmasi keberhasilannya melalui karakterisasi FTIR dan XRD.

2. Mengevaluasi karakteristik mekanik, aktivitas antibakteri, dan biodegradabilitas film kitosan terlapisi ekstrak kubis merah yang dimodifikasi dengan glutaraldehida (GA) dan grafena oksida (GO).
3. Mengkaji kemampuan film kitosan terlapisi ekstrak kubis merah dalam mendeteksi kesegaran daging ayam berdasarkan perubahan warna selama penyimpanan.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bidang akademik, ekonomi, dan industri, khususnya terkait sintesis film biodegradabel berbasis kitosan/GO yang dilapisi ekstrak kubis merah sebagai sensor kesegaran dalam kemasan daging segar. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan material kemasan cerdas yang ramah lingkungan.

1.5. Keaslian Penelitian

Tabel 1. 1 Penelitian terdahulu terkait film grafena oksida (GO)

No	Penulis/Judul>Nama Jurnal/Tahun	Hasil
1.	C. D. Grande, dkk/ Chitosan Cross-Linked Graphene Oxide Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity for Application in Food Industry/ Macromolecular Symposia/2017	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan GO dapat berikatan, aktivitas antimikroba pada bakteri gram negatif <i>E. coli</i> dan gram positif <i>B. subtilis</i> , dan sifat mekanik film akan meningkat seiring bertambahnya GO pada film
2.	F. Han Lyn, dkk/ Effect of oxidation degrees of graphene oxide (GO) on the structure and physical properties of chitosan/GO composite films/ Food Packaging and Shelf Life/2019	Film kitosan/GO memiliki kekuatan mekanik semakin tinggi seiring bertambahnya agen pengoksidasi. Menghasilkan film yang memiliki perlindungan daya serap UV yang baik serta memiliki kemampuan biodegradasi sempurna selama 20 hari.
3.	S. Mohammadi and A. Babaei/ Poly (vinyl alcohol)/ chitosan/polyethylene glycol-assembled graphene oxide bio-nanocomposites as a prosperous candidate for biomedical applications and drug/food	Berdasarkan hasil uji tarik menunjukkan bahwa PVA/CS/GO-PEG memiliki <i>modulus Young</i> yang lebih tinggi, kekakuan, dan kekuatan tarik dibandingkan sampel lainnya (PVA, PVA/CS, PVA/CS/GO). Nanokomposit PVA/CS/GO-PEG

packaging industry/ International Journal of Biological Macromolecules 201/2022	menunjukkan aktivitas antimikroba tertinggi terhadap bakteri <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i> . PVA/CS/GO-PEG nanokomposit menunjukkan sifat biodegradabilitas yang lebih baik dibandingkan sampel lainnya. Oleh karena itu, GO-PEG bersifat biokompatibel dan ultra-hidrofilik nanohybrid dapat menjadi alternatif yang baik dibandingkan pelat nano karbon lainnya (graphene, GO) dalam pengembangan nanokomposit
4. A. Kafashan, dkk/ Nanocomposites of soluble soybean polysaccharides with grape skin anthocyanins and graphene oxide as an efficient halochromic smart packaging/ Sustainable Materials and Technologies/2023	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sensitivitas pH yang luar biasa diinduksi dalam film karena adanya ekstrak kulit anggur (GE) pada matriks Soybean polisakarida (SP). Penambahan GE menyebabkan penurunan sifat mekanik dan termal serta peningkatan MC dan WVP film tersebut. Di sisi lain, terungkap bahwa GO ditingkatkan sifat mekanik dan termal, serta penurunan MC dan WVP film tersebut. Hasil sensitivitas pH menunjukkan bahwa fabrikasi film halokromik menunjukkan perubahan warna yang dapat dikenali dalam basa lingkungan. Hasil pemantauan kesegaran, film ini sangat sensitif terhadap perubahan pH dan pelepasan TVB-N dari fillet ikan salmon sehingga cocok digunakan sebagai indikator pembusukan makanan.

Penelitian ini memiliki kebaruan dalam variasi agen penaut silang (glutaraldehid) dan penambahan grafena oksida (GO) pada film kitosan, yang kemudian dilapisi dengan ekstrak kubis merah sebagai indikator alami. Film hasil modifikasi ini diaplikasikan sebagai sensor dalam kemasan daging ayam segar untuk memantau kesegarannya.